



Analisis Kerentanan Tanah Terhadap Gempa Bumi Menggunakan Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* di Daerah Way Huwi, Lampung Selatan

Angelica Noviani Sitio^{1*}, Selvi Misnia Irawati¹, Rizki Wulandari¹, Dwi Putri Meisya br Sinuhaji¹

¹ Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1562>

Article Info:

Received : 09 Desember 2025
Revised : 22 Desember 2025
Accepted : 18 Januari 2026
Published : 30 Januari 2026

Correspondence:

Angelica Noviani Sitio

Phone: +6285341822548

Abstract: This study aims to evaluate the level of soil seismic vulnerability in Way Huwi Village, South Lampung, using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method. The analysis was conducted based on parameters including natural frequency, soil amplification factor, seismic vulnerability index, and shear-wave velocity to a depth of 30m V_{S30} . The results indicate that the subsurface conditions of the study area are heterogeneous, as reflected by the spatial variation of HVSr parameters across the area. Areas characterized by low natural frequency ($f_0 < 5$ Hz) and high amplification factor ($A_0 > 3.5$) are generally associated with thick, unconsolidated soft sediments, resulting in higher seismic vulnerability. In contrast, areas with higher V_{S30} values indicate stiffer and more compact soil conditions, leading to a more stable ground response to earthquake shaking. V_{S30} estimation using Particle Swarm Optimization (PSO) and Genetic Algorithm (GA) methods produced consistent results, where lower V_{S30} values correlate with increased amplification factors and seismic vulnerability indices. Based on these findings, areas with high seismic vulnerability, particularly around measurement points SS2, SS10, and SS22, are recommended as priority zones for earthquake risk mitigation efforts. The results of this study are expected to serve as a basis for spatial planning, earthquake-resistant building design, and disaster risk management in Way Huwi Village.

Keywords: Earthquake mitigation; HVSr; method; PSO; Seismic vulnerability; Soil amplification; V_{S30} .

Citation: Sitio, A. N., Wulandari, R., Irawati, S. M., & Sinuhaji, D. P. M. br. (2026). Analisis Kerentanan Tanah Terhadap Gempa Bumi Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio di Daerah Way Huwi, Lampung Selatan. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(1), 462–472. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1562>

Pendahuluan

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang disebabkan pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi, yang memicu gelombang seismik dan menimbulkan guncangan di permukaan. Aktivitas tektonik akibat pergerakan lempeng bumi menjadi penyebab utama fenomena ini, disertai faktor lain seperti letusan gunung berapi atau longsoran besar.

Provinsi Lampung merupakan daerah yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi tinggi karena terletak pada zona subduksi antara Lempeng IndoAustralia dan Lempeng Eurasia, serta dipengaruhi oleh keberadaan Sesar Besar Sumatera. Kondisi tektonik

tersebut diperkuat oleh keberadaan elemen geologi lain seperti Gunung Ratai, Gunung Betung, dan Sesar Menanga. Desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, merupakan salah satu wilayah yang berpotensi terdampak aktivitas seismik karena posisinya yang strategis dan sedang mengalami perkembangan infrastruktur pesat. Secara geologi, wilayah ini memiliki struktur sesar *horst-graben* berarah timur laut-barat daya, yang menunjukkan dinamika tektonik kompleks.

Pemahaman risiko gempa yang komprehensif menjadi landasan penting dalam penyusunan kebijakan mitigasi berbasis bukti (*evidence-based policy*). Namun, penerapan pendekatan ini sering terkendala oleh

Email: angelica.121120079@student.itera.ac.id

keterbatasan data, koordinasi antar lembaga, dan rendahnya literasi kebencanaan. Oleh karena itu, kolaborasi antar lembaga yang bersangkutan serta peningkatan edukasi dan partisipasi masyarakat sangat diperlukan untuk memperkuat kesiapsiagaan terhadap bencana gempa bumi. Perancangan jalur evakuasi yang efektif merupakan komponen krusial dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi. Jalur evakuasi yang terencana dengan baik dapat mempercepat proses penyelamatan, mengurangi risiko korban jiwa, dan meningkatkan ketertiban saat proses evakuasi berlangsung.

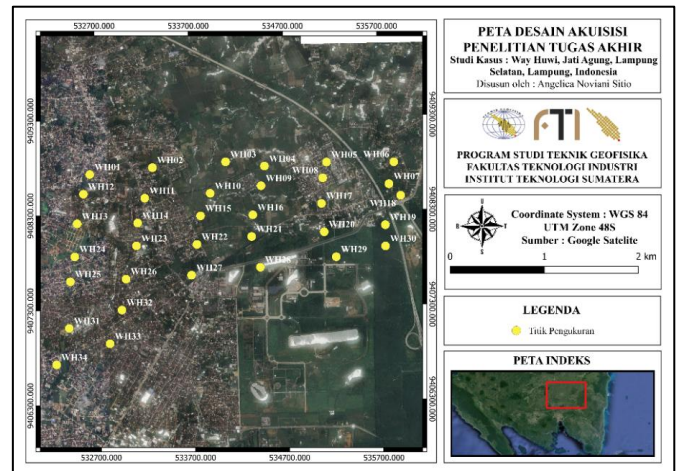
Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) merupakan metode geofisika pasif yang digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dengan menganalisis rasio spektrum komponen horizontal dan vertikal dari rekaman mikrotremor. Melalui metode ini dapat diperoleh parameter seismik penting seperti frekuensi natural f_0 , faktor penguatan A_0 , indeks kerentanan seismik K_g , dan kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter V_{S30} . Keempat parameter ini berperan dalam menentukan tingkat kerawanan seismik suatu wilayah. Tanah dengan nilai f_0 rendah dan V_{S30} kecil umumnya bersifat lunak sehingga berpotensi memperkuat getaran gempa, sedangkan A_0 dan K_g mencerminkan tingkat amplifikasi dan kerentanan seismik.

Pemahaman yang menyeluruh terhadap tingkat kerentanan tanah terhadap guncangan gempa bumi merupakan aspek penting sebagai landasan dalam penyusunan strategi dan kebijakan mitigasi bencana. Analisis kerentanan tanah terhadap gempa bumi menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) di wilayah Way Huwi, Lampung Selatan, dapat memberikan pemahaman lebih mendalam tentang karakteristik bawah permukaan yang mempengaruhi risiko gempa. Pemetaan yang tepat mengenai frekuensi natural dan amplifikasi tanah di wilayah ini sangat berguna dalam perencanaan mitigasi, seperti perancangan jalur evakuasi yang efektif. Dengan perencanaan yang matang, jalur evakuasi dapat mempercepat proses penyelamatan, mengurangi potensi korban jiwa, dan meningkatkan ketertiban selama proses evakuasi saat terjadi gempa.

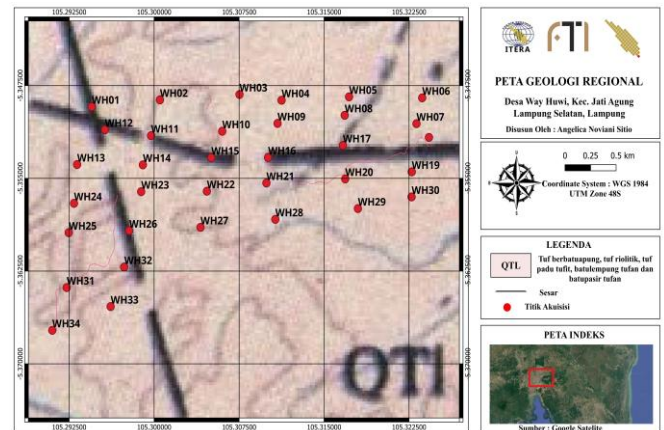
Metode

Daerah penelitian berfokus di Desa Way Huwi, Kabupaten Lampung Selatan, dengan jumlah 34 titik pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 1. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa seismogram pada domain waktu hasil perekaman seismometer tiga komponen, yang terdiri atas (komponen horizontal utara-selatan, horizontal barat-timur, serta komponen vertikal), yaitu *Raspberry Shake*

RS3D *Outdoor* dengan parameter akuisisi seperti terlihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta desain akuisisi pengukuran mikrotremor



Gambar 2. Peta geologi regional pengukuran mikrotremor

Berdasarkan Gambar 2. Peta Geologi Regional Desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan, wilayah penelitian seluruhnya didominasi oleh satuan litologi QTL (Kuartar Tuf Lampung) yang tersusun atas tuf berbatuapung, batulempung tufan, dan batupasir tufan. Litologi ini merupakan hasil aktivitas vulkanik yang relatif muda dan bersifat lepas hingga semi-kompak, sehingga memiliki tingkat porositas yang cukup tinggi dan kestabilan mekanik yang relatif rendah. Pada peta juga teridentifikasi keberadaan beberapa struktur sesar yang memotong wilayah penelitian, dengan arah umum barat laut-tenggara dan barat-timur.

Keberadaan sesar ini berperan penting dalam mengontrol kondisi mekanik batuan, karena zona sesar umumnya dicirikan oleh batuan yang lebih terfragmentasi dan lemah. Area di sekitar sesar

berpotensi mengalami peningkatan kerentanan terhadap deformasi dan amplifikasi gelombang seismik

kerusakan. Frekuensi natural tanah f_0 dapat dihitung dengan rumus:

Tabel 1. Parameter akuisisi pengukuran mikrotremor (SESAME, 2014)

Kategori	Parameter
Sample rate	100 Hz
Durasi perekaman	40 - 60 menit
Jarak pengukuran	250 - 500 meter

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \tag{2}$$

Prosedur pengolahan data diawali dengan proses *windowing* sinyal untuk mengekstraksi gelombang mikrotremor dan mengurangi aliasing pada sinyal yang terekam. Selanjutnya, Transformasi *Fourier* diterapkan untuk mengonversi sinyal seismograf dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. Tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai HVSR menggunakan suatu persamaan yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

Keterangan:

- f_0 = frekuensi natural (Hz)
- V_s = kecepatan gelombang S (m/s)
- H = ketebalan lapisan lapuk (m)

$$HVSR(f) = \frac{\sqrt{[(S_{NS})^2 + (S_{EW})^2]}}{S_{VS}} \tag{1}$$

Keterangan:

- $HVSR$ = rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal
- S_{NS} = spektrum komponen komponen utara-selatan
- S_{EW} = spektrum komponen komponen barat-timur
- S_{VS} = spektrum komponen vertikal direkam oleh sensor permukaan bebas

Setelah itu berdasarkan kurva HVSR dilakukan perhitungan amplitudo A_0 yang merupakan ukuran peningkatan amplitudo gelombang seismik ketika merambat melalui lapisan tanah dengan karakteristik mekanik tertentu. Proses ini dipengaruhi oleh parameter seperti kepadatan, kekakuan, kelembaban tanah, serta kesesuaian frekuensi gelombang seismik dengan frekuensi natural tanah. Jika keduanya berdekatan, resonansi dapat terjadi sehingga amplitudo getaran meningkat signifikan dan memperbesar potensi kerusakan. Dalam mikrozonasi seismik, parameter ini berfungsi untuk mengidentifikasi zona rawan penguatan gelombang dan menjadi dasar penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa maupun jalur evakuasi. Secara matematis, faktor amplifikasi dinyatakan sebagai:

$$A_0 = \frac{\rho_\alpha V_\alpha}{\rho_c V_c} \tag{3}$$

Keterangan:

- A_0 = faktor amplifikasi
- ρ_α = nilai massa jenis batuan dasar (kg/m^3)
- V_α = nilai cepat rambat gelombang di batuan dasar (m/s)
- ρ_c = nilai massa jenis batuan lunak/permukaan (kg/m^3)
- V_c = nilai cepat rambat gelombang di batuan lunak (m/s)

Proses selanjutnya adalah kontrol kualitas, di mana data pengukuran yang dipilih harus memenuhi kriteria keandalan dan kejernihan yang ditetapkan. Untuk memperjelas bentuk kurva HVSR, dilakukan tahap *smoothing*, yang juga bertujuan untuk mempermudah proses inversi. Tahapan berikutnya adalah ekstraksi frekuensi natural f_0 merupakan frekuensi di mana suatu sistem fisik seperti bangunan, jembatan, atau lapisan tanah secara alami bergetar ketika mengalami gangguan eksternal tanpa adanya gaya luar yang berkelanjutan.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai Indeks Kerentanan Seismik K_g merupakan parameter penting untuk mengevaluasi tingkat kerentanan suatu struktur, infrastruktur, atau wilayah terhadap guncangan gempa. Nilai ini mencerminkan potensi kerusakan akibat kombinasi karakteristik tanah, struktur bangunan, serta interaksi frekuensi alami tanah dan gelombang seismik. Struktur dengan bahan rapuh dan desain tidak stabil cenderung lebih rentan terhadap kerusakan, terutama pada kondisi tanah lunak yang memperkuat gelombang seismik. Perhitungan indeks kerentanan seismik

Nilai frekuensi ini merupakan karakteristik bawaan sistem yang ditentukan oleh massa dan kekakuan. Dalam konteks seismologi, kesesuaian antara frekuensi natural struktur atau tanah dengan frekuensi gelombang seismik dapat memicu resonansi, sehingga meningkatkan amplitudo getaran dan potensi

didasarkan pada hubungan antara faktor amplifikasi A_0 dan frekuensi natural tanah f_0 melalui persamaan:

$$K_g = \frac{(A_0)^2}{f_0} \quad (4)$$

Keterangan:

- K_g = Indeks kerentanan seismik
- A_0 = faktor amplifikasi
- f_0 = frekuensi natural (Hz)

Nilai K_g yang tinggi menunjukkan tingkat kerentanan seismik yang besar akibat penguatan getaran dan potensi resonansi. Dalam mikrozonasi seismik, parameter ini digunakan untuk mengidentifikasi wilayah berisiko tinggi serta sebagai dasar dalam perencanaan mitigasi bencana, seperti penguatan struktur bangunan dan perancangan jalur evakuasi yang aman.

Kemudian, nilai kecepatan gelombang geser V_{S30} salah satu parameter penting dalam studi geoteknik dan seismologi untuk menggambarkan kondisi dinamis tanah permukaan terhadap gelombang seismik. Nilai ini digunakan secara luas dalam klasifikasi jenis tanah, mikrozonasi seismik, serta desain bangunan tahan gempa. Tanah dengan nilai V_{S30} rendah umumnya bersifat lunak dan memperkuat getaran seismik, sedangkan tanah dengan nilai tinggi menunjukkan kondisi lebih padat dan stabil. Perhitungan V_{S30} dilakukan menggunakan persamaan:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}}} \quad (5)$$

Keterangan:

- V_{S30} = Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter
- h_i = ketebalan lapisan ke-i (dalam meter)
- V_{si} = Kecepatan gelombang geser pada lapisan ke-i (dalam m/s)
- n = Jumlah lapisan hingga mencapai total kedalam 30 meter

Inversi yang digunakan pada penelitian ini yaitu Inversi *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan (GA). *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan algoritma pencarian solusi berbasis populasi yang diperkenalkan oleh Kennedy & Eberhart (1995). Algoritma ini terinspirasi dari perilaku kolektif kawanan burung atau ikan dalam mencari sumber makanan. Dalam geofisika, PSO digunakan sebagai metode inversi global untuk mengestimasi parameter bawah permukaan dengan

cara mengoptimalkan kecocokan antara model dan data observasi. Setiap partikel merepresentasikan satu kandidat solusi, dan pergerakannya dipengaruhi oleh pengalaman terbaiknya sendiri (*personal best*) serta seluruh populasi (*global best*). Persamaan dasar pergerakan partikel pada PSO dinyatakan sebagai:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + V_i^{t+1}$$

$$V_i^{t+1} = \omega P_i^t + c_1 r_1 (P_{best(i)}^t - P_i^t) + c_2 r_2 (P_{bestglobal}^t - P_i^t) \quad (6)$$

Keterangan:

- V_i^{t+1} = perturbasi model
- P_i^{t+1} = model hasil modifikasi
- P_i^t = model awal
- c_1 = akselerasi lokal
- c_2 = akselerasi global
- r_1 = nilai random
- r_2 = nilai random
- ω = inersia
- $P_{best(i)}^t$ = posisi lokal terbaik

Keunggulan PSO dibandingkan metode inversi konvensional, seperti *least squares* atau pendekatan berbasis gradien, adalah kemampuannya menyelesaikan permasalahan *non-linear* tanpa memerlukan turunan fungsi objektif (Smbridge & Moesgaard, 2002). Proses optimasi dilakukan dengan meminimalkan fungsi objektif, umumnya berupa *root mean square error* (RMSE), hingga mencapai ambang batas konvergensi

Particle Swarm Optimization (PSO) dan *Genetic Algorithm* (GA) untuk memperoleh parameter fisik tanah yang lebih akurat, seperti kecepatan gelombang geser (V_s) dan profil V_{S30} . HVSR hanya menghasilkan kurva *respons* yang menunjukkan frekuensi natural tanah f_0 , namun tidak langsung memberikan nilai parameter bawah permukaan. PSO dan GA digunakan dalam proses inversi untuk mencocokkan kurva HVSR hasil observasi dengan model teoritis, sehingga memperoleh parameter tanah yang sesuai. PSO meniru perilaku gerombolan untuk mencari solusi secara kolektif, sementara GA meniru proses evolusi biologis untuk mencari solusi optimal melalui seleksi, mutasi, dan *crossover*.

Kedua metode ini mengurangi ketergantungan pada tebakan awal dan menghindari solusi lokal, memungkinkan pencarian parameter tanah yang lebih tepat dan mengurangi bias. Algoritma genetika

merupakan salah satu metode pencarian dan optimasi yang mengadopsi prinsip evolusi alami dalam biologi. Metode ini memanfaatkan konsep genetika untuk melakukan proses optimasi dengan tujuan memperoleh nilai *fitness* maksimum melalui mekanisme evolusi buatan. Dalam algoritma ini, sekumpulan solusi atau model direpresentasikan sebagai populasi individu, di mana nilai *fitness* mencerminkan tingkat kesesuaian setiap individu terhadap data yang digunakan. Individu-individu dalam populasi kemudian diseleksi berdasarkan nilai *fitness*-nya, sementara jumlah individu pada setiap generasi dipertahankan tetap. Algoritma genetika terinspirasi oleh mekanisme seleksi alam untuk menghasilkan solusi yang lebih baik melalui optimasi parameter dengan menerapkan tahapan evolusi alami, yaitu seleksi, *crossover*, dan mutasi. Prosedur untuk memperoleh solusi optimal melalui algoritma genetika dijelaskan sebagai berikut (Maharani, 2018):

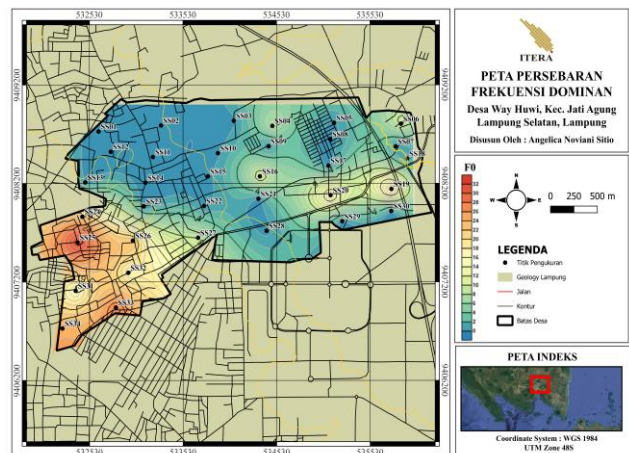
1. Proses awal algoritma genetika dimulai dengan pembentukan sekumpulan solusi awal yang direpresentasikan sebagai individu-individu dalam suatu populasi. Berdasarkan jumlah individunya, populasi dapat dibedakan menjadi *Micro Genetic Algorithm* yang menggunakan populasi berukuran kecil, yaitu sekitar 5 hingga 50 individu, serta *Macro Genetic Algorithm* yang melibatkan populasi lebih besar dengan jumlah sekitar 50 hingga 100 individu. Dalam setiap generasi, evaluasi nilai *fitness* dan jumlah individu dalam populasi tetap menjadi faktor penentu dalam mekanisme seleksi individu pada algoritma genetika.
2. Selanjutnya, tahap *decoding* dilakukan dengan mengonversi individu dalam populasi yang semula direpresentasikan sebagai bilangan biner menjadi nilai riil, sehingga parameter yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan interval atau batasan nilai yang telah ditetapkan.
3. Pada tahap evaluasi *fitness*, setiap individu diberikan nilai yang merepresentasikan tingkat kelayakannya untuk dipertahankan pada generasi selanjutnya. Berdasarkan konsep evolusi, individu dengan nilai *fitness* yang lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk bertahan, sementara individu dengan nilai *fitness* rendah cenderung tersisih dari proses seleksi.
4. Tahap reproduksi dilakukan dengan menyeleksi individu-individu terbaik dalam populasi, yaitu individu yang memiliki nilai *fitness* tinggi, untuk digunakan dalam proses pembentukan generasi berikutnya.
5. *Crossover* merupakan tahapan evolusi yang berfungsi untuk mengkombinasikan informasi genetik dari dua individu dalam satu generasi. Pada proses ini, pasangan individu yang dipilih berdasarkan tingkat *fitness* akan menghasilkan

individu baru dengan karakteristik atau parameter yang merupakan hasil perpaduan dari kedua induknya secara acak. Dalam konteks inversi, mekanisme *crossover* memungkinkan perpindahan solusi secara langsung ke posisi lain dalam ruang model tanpa harus melalui proses perubahan yang bersifat bertahap.

Pada proses inversi, mutasi merupakan tahap yang memungkinkan terjadinya perubahan parameter secara acak pada individu induk, sehingga berpotensi menghasilkan solusi yang lebih optimal. Proses ini dilakukan dengan probabilitas yang sangat kecil, umumnya berada pada kisaran 0,001 hingga 0,1.

Hasil dan Diskusi Peta Persebaran Frekuensi Natural (f_0)

Gambar 3. menunjukkan persebaran frekuensi natural di Desa Way Huwi menggunakan *software Geopsy*, sedangkan Gambar 4. menunjukkan persebaran frekuensi natural di Desa Way Huwi menggunakan *software HVSR.py*. Hasil pemetaan frekuensi natural f_0 di Desa Way Huwi menunjukkan variasi spasial yang signifikan, dengan nilai f_0 berkisar dari di bawah 2 Hz hingga di atas 20 Hz. Sebaran ini mengindikasikan adanya heterogenitas kondisi bawah permukaan, baik dari sisi litologi maupun ketebalan lapisan sedimen. Zona dengan nilai f_0 rendah (<5 Hz) ditemukan mendominasi bagian tengah hingga utara wilayah studi, terutama pada titik-titik seperti SS2, SS10, SS11, dan SS22.

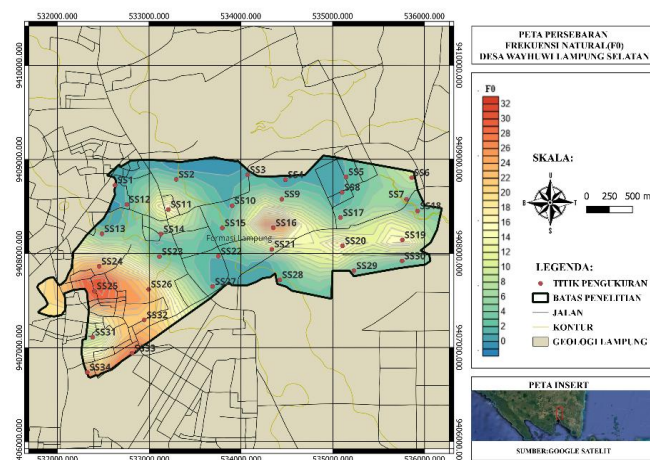


Gambar 3. Peta persebaran frekuensi natural (f_0) menggunakan *software Geopsy* Desa Way Huwi, Lampung Selatan.

Berdasarkan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), nilai frekuensi natural f_0 yang rendah mengindikasikan keberadaan lapisan sedimen lunak dengan ketebalan signifikan di atas batuan dasar. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan amplifikasi

gelombang seismik yang tinggi ketika terjadi guncangan gempa bumi (SESAME, 2004; Lachet & Bard, 1994). Oleh karena itu, zona ini dikategorikan sebagai wilayah dengan tingkat risiko tinggi dalam kajian mikrozonasi gempa dan memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan serta perancangan bangunan tahan gempa.

Sebaliknya, nilai f_0 tinggi (>10 Hz) terdeteksi pada bagian barat daya kawasan studi, terutama di titik-titik SS24, SS25, SS31, hingga SS34. Nilai f_0 yang tinggi umumnya menunjukkan kedalaman batuan keras yang dangkal atau bahkan tersingkap, yang mengindikasikan zona batuan keras (*bedrock*) seperti andesit atau batuan beku lainnya. Hal ini diperkuat oleh posisi geografis zona tersebut yang berada dekat dengan punggung morfologi dan jaringan jalan besar, yang umumnya mengikuti zona batuan keras. Dengan demikian, zona ini relatif lebih stabil terhadap efek amplifikasi gempa, dan cocok dijadikan lokasi untuk pembangunan struktur berat seperti fasilitas vital dan infrastruktur besar.



Gambar 4. Peta persebaran frekuensi natural (f_0) menggunakan *software* HVSR.py Desa Way Huwi, Lampung Selatan (Sinuaji, 2025).

Zona dengan nilai f_0 sedang (5–10 Hz) tersebar di bagian timur dan tenggara wilayah studi, seperti pada titik SS7, SS15, dan SS20. Nilai ini merepresentasikan ketebalan sedimen sedang dan umumnya berasosiasi dengan zona peralihan antara sedimen dan batuan dasar. Berdasarkan klasifikasi NEHRP (1997), wilayah ini dapat digolongkan ke dalam kelas tanah tipe C atau D, tergantung pada nilai kecepatan gelombang geser V_{S30} yang melengkapinya.

Jika dikaitkan dengan data geologi regional, distribusi nilai f_0 ini berasosiasi erat dengan Formasi Lampung yang terdiri dari tuf, breksi vulkanik, dan endapan kuartar. Zona f_0 rendah cenderung berimpit dengan endapan kuartar yang bersifat lunak dan porous, sedangkan zona f_0 tinggi berkorelasi dengan

batuan vulkanik masif dari formasi yang lebih tua. Hal ini memperkuat validitas teknik HVSR sebagai pendekatan non-destruktif dalam mengidentifikasi karakteristik bawah permukaan dan zonasi risiko kegempaan.

Peta Persebaran Faktor Amplifikasi (A_0)

Peta persebaran faktor amplifikasi tanah di Desa Way Huwi berdasarkan pengukuran mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) menggunakan *software* *Geopsy* ditunjukkan oleh Gambar 5, sedangkan Gambar 6. menunjukkan peta faktor amplifikasi tanah di Desa Way Huwi menggunakan *software* *HVSR.py*. Peta persebaran faktor amplifikasi A_0 menunjukkan distribusi nilai A_0 yang bervariasi di seluruh wilayah penelitian, dengan kisaran antara sekitar 1.2 hingga lebih dari 4.6. Secara umum, nilai A_0 yang tinggi mengindikasikan kemampuan tanah untuk memperkuat amplitudo gelombang gempa, yang berpotensi meningkatkan kerusakan struktural di permukaan, terutama pada bangunan rentan terhadap guncangan ketika gempa terjadi.

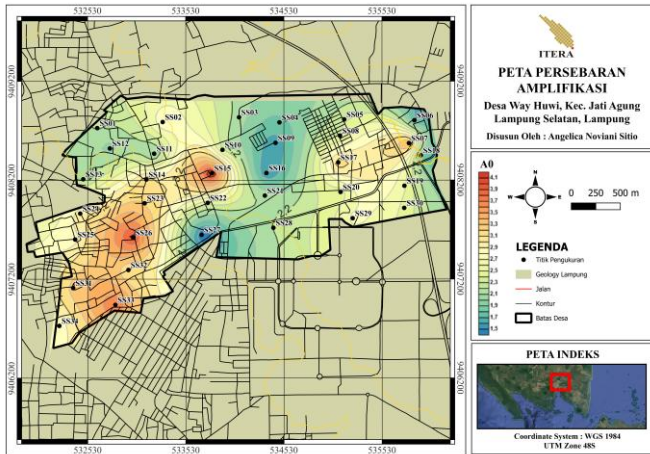
Wilayah dengan faktor amplifikasi tinggi ($A_0 > 3.5$) teridentifikasi pada bagian barat daya dan barat wilayah studi, khususnya pada titik-titik SS25, SS26, SS31, dan SS33. Zona ini memiliki potensi amplifikasi yang besar, kemungkinan disebabkan oleh keberadaan sedimen lunak tebal yang menjebak energi gelombang dan memperkuat amplitudonya di permukaan. Hal ini sangat berbahaya bagi bangunan di atasnya, karena berisiko mengalami resonansi, terutama jika frekuensi alami bangunan berimpit dengan frekuensi natural tanah. Berdasarkan hasil ini, zona tersebut termasuk zona risiko tinggi dalam konteks mikrozonasi kegempaan dan perlu penguatan bangunan atau modifikasi struktur pondasi.

Sebaliknya, wilayah timur dan sebagian tengah (misalnya pada titik-titik seperti SS9, SS16, SS21, dan SS28) menunjukkan nilai A_0 yang lebih rendah, berkisar antara 1.2 hingga 2.5. Nilai ini mencerminkan kondisi geologi yang relatif stabil, kemungkinan berupa lapisan tanah lebih padat atau kedalaman batuan dasar yang dangkal, yang menghambat terjadinya penguatan gelombang secara signifikan. Zona ini tergolong lebih aman dan dapat menjadi prioritas pengembangan wilayah dengan risiko gempa yang lebih terkendali.

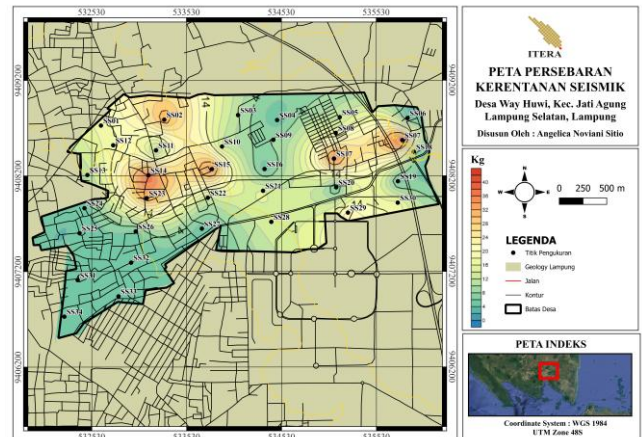
Pola distribusi nilai A_0 ini menunjukkan hubungan yang erat dengan geologi lokal, khususnya Formasi Lampung yang didominasi oleh tuf, breksi, dan endapan kuartar. Lokasi dengan nilai A_0 tinggi umumnya berada di atas endapan aluvial atau material vulkanik terlapuk, sedangkan nilai A_0 rendah berkorelasi dengan area yang kemungkinan terdiri dari batuan vulkanik masif atau lapisan tanah yang telah mengalami pemadatan sekunder. Kondisi ini

memperkuat temuan bahwa jenis dan kondisi fisik litologi sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya faktor amplifikasi di permukaan.

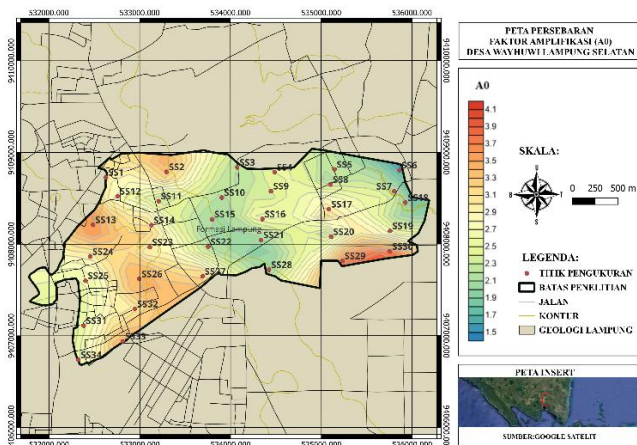
gelombang gempa secara signifikan. Oleh karena itu, wilayah ini tergolong sebagai zona dengan tingkat kerentanan seismik tinggi dan perlu menjadi prioritas dalam upaya mitigasi serta perencanaan bangunan tahan gempa.



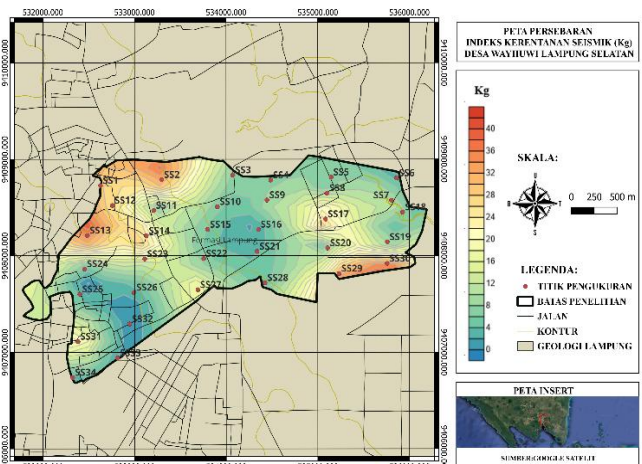
Gambar 5. Peta persebaran amplifikasi (A_0) menggunakan *software Geopsy* Desa Way Huwi, Lampung Selatan.



Gambar 7. Peta persebaran indeks kerentanan seismik (K_g) menggunakan *software Geopsy* Desa Way Huwi, Lampung Selatan.



Gambar 6. Peta persebaran amplifikasi (A_0) menggunakan *software HVSR.py* Desa Way Huwi, Lampung Selatan (Sinuaji, 2025).



Gambar 8. Peta persebaran indeks kerentanan seismik (K_g) menggunakan *software HVSR.py* Desa Way Huwi, Lampung Selatan (Sinuaji, 2025).

Peta Persebaran Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

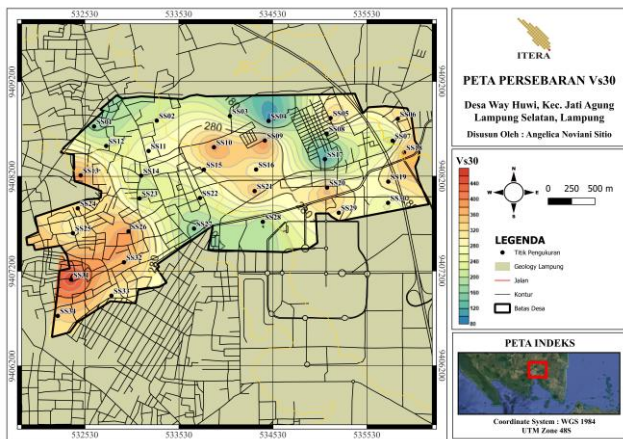
Pada Gambar 7. menggambarkan persebaran nilai indeks kerentanan seismik di Desa Way Huwi menggunakan *software Geopsy*, sedangkan Gambar 8. menunjukkan kerentanan seismik di Desa Way Huwi menggunakan *software HVSR.py*.

Zona dengan nilai K_g tinggi (>30) teridentifikasi terutama pada bagian barat-tengah hingga tengah wilayah penelitian, yang meliputi titik SS02, SS07, SS14, dan SS23. Area ini didominasi oleh warna merah hingga orange pada peta, yang menunjukkan adanya kemungkinan lapisan sedimen lunak yang relatif tebal di atas batuan dasar. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan terjadinya penguatan amplitudo

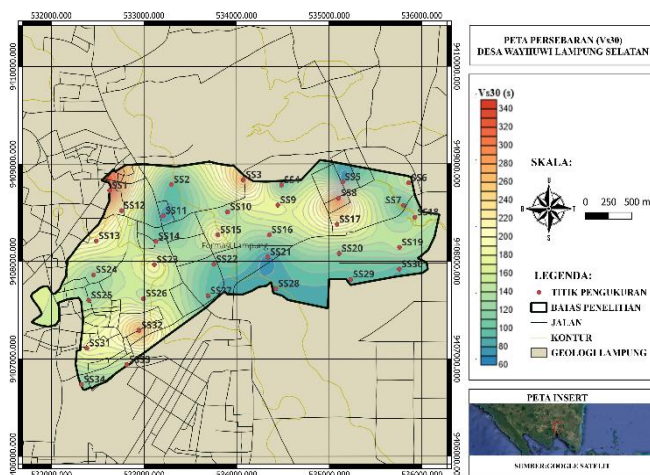
Sebaliknya, nilai K_g rendah hingga sedang ($<15-20$) umumnya ditemukan pada bagian selatan dan timur wilayah studi, terutama pada titik SS25, SS26, SS28, SS32, dan SS34, yang didominasi oleh warna hijau hingga biru. Kondisi ini mengindikasikan bahwa lapisan bawah permukaan di wilayah tersebut relatif lebih padat dan homogen, dengan kemungkinan kedalaman batuan dasar yang lebih dangkal atau keberadaan batuan keras. Akibatnya, gelombang gempa yang merambat ke permukaan mengalami penguatan yang lebih kecil, sehingga risiko resonansi dan kerusakan struktural relatif lebih rendah (Lachet & Bard,

1994; Rachmawati & Daryono, 2020). Korelasi spasial antara peta kerentanan seismik K_g dengan kondisi geologi lokal menunjukkan bahwa nilai K_g tinggi banyak berasosiasi dengan Formasi Lampung, khususnya pada zona yang terdiri atas batuan piroklastik lapuk dan endapan kuarter. Formasi ini memiliki karakteristik fisik yang cenderung poros, lunak, dan tidak terkonsolidasi sempurna, yang membuatnya sangat sensitif terhadap guncangan seismik. Sebaliknya, area dengan nilai K_g rendah tampaknya berkorelasi dengan keberadaan batuan vulkanik keras yang lebih stabil secara geoteknik.

Peta Persebaran Kecepatan Gelombang Geser hingga Kedalaman 30 meter (V_{S30})



Gambar 9. Peta persebaran kecepatan gelombang geser (V_{S30}) menggunakan inversi PSO Desa Way Huwi, Lampung Selatan.



Gambar 10. Peta persebaran kecepatan gelombang geser (V_{S30}) menggunakan inversi GA Desa Way Huwi, Lampung Selatan (Sinuaji, 2025).

Peta V_{S30} pada Gambar 9. yang dihasilkan menggunakan PSO (*Particle Swarm Optimization*) dan peta V_{S30} pada Gambar 10. yang dihasilkan

menggunakan GA (*Genetic Algorithm*) menunjukkan adanya variasi kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter di wilayah Desa Way Huwi, Lampung Selatan. Parameter V_{S30} merepresentasikan tingkat kekakuan lapisan tanah dangkal yang berperan penting dalam menentukan respon tanah terhadap getaran gempa bumi. Berdasarkan kedua peta tersebut, nilai V_{S30} tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah hingga orange umumnya tersebar pada bagian barat dan timur wilayah penelitian, terutama di sekitar titik SS26, SS31, dan SS34. Nilai V_{S30} yang tinggi mengindikasikan kondisi tanah yang relatif lebih padat dan kaku, sehingga memiliki kemampuan meredam getaran gempa dengan lebih baik dan tingkat amplifikasi yang lebih rendah. Sebaliknya, zona dengan nilai V_{S30} rendah yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga biru dominan berkembang pada bagian tengah hingga tenggara wilayah penelitian, terutama di sekitar titik SS04, SS17, SS27, dan SS28. Nilai V_{S30} yang rendah mencerminkan keberadaan lapisan sedimen yang lebih lunak dan kurang terkonsolidasi, sehingga berpotensi mengalami penguatan gelombang seismik yang lebih besar saat terjadi gempa bumi.

Dalam kaitannya dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*, wilayah dengan nilai V_{S30} rendah umumnya memiliki frekuensi dominan rendah dan faktor amplifikasi yang tinggi, yang menunjukkan tingkat kerentanan seismik yang lebih besar. Oleh karena itu, area dengan karakteristik tersebut perlu mendapat perhatian khusus dalam perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana, termasuk dalam penentuan jalur evakuasi dan pembangunan infrastruktur tahan gempa. Sebaliknya, wilayah dengan nilai V_{S30} tinggi dapat dipertimbangkan sebagai zona yang relatif lebih stabil.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*, wilayah Desa Way Huwi, Lampung Selatan menunjukkan kondisi bawah permukaan yang bervariasi secara spasial dan dikontrol oleh perbedaan litologi serta ketebalan lapisan sedimen. Variasi tersebut tercermin dari nilai frekuensi natural f_0 , faktor amplifikasi tanah A_0 , indeks kerentanan seismik K_g , dan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter V_{S30} . Wilayah dengan nilai frekuensi natural rendah ($f_0 < 5$ Hz) umumnya berasosiasi dengan keberadaan sedimen lunak yang tebal dan kurang terkonsolidasi. Kondisi ini dicirikan oleh nilai faktor amplifikasi dan indeks kerentanan seismik yang relatif tinggi, sehingga berpotensi menyebabkan penguatan gelombang seismik yang cukup besar saat terjadi gempa bumi. Zona-zona tersebut menunjukkan tingkat kerentanan seismik yang tinggi dan memerlukan perhatian khusus dalam

perencanaan pembangunan. Sebaliknya, area dengan nilai V_{S30} yang lebih tinggi mencerminkan kondisi tanah yang lebih kaku dan kompak, yang mampu mereduksi penguatan gelombang seismik. Pada zona ini, nilai faktor amplifikasi dan indeks kerentanan seismik cenderung lebih rendah, sehingga risiko kerusakan akibat gempa relatif lebih kecil.

Hasil inversi V_{S30} menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Genetic Algorithm* (GA) memperlihatkan kesesuaian pola distribusi, yang memperkuat keterkaitan antara parameter dinamika tanah dan respon seismik permukaan. Korelasi antara nilai f_0 yang rendah, A_0 dan K_g yang tinggi, serta V_{S30} yang rendah menegaskan bahwa karakteristik sedimen dangkal memiliki peranan penting dalam menentukan tingkat kerentanan seismik wilayah penelitian. Dengan demikian, lokasi-lokasi yang menunjukkan kombinasi parameter tersebut, khususnya pada titik pengukuran SS02, SS10, dan SS22, direkomendasikan sebagai zona prioritas dalam upaya mitigasi risiko gempa. Implementasi hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan tata ruang, perancangan bangunan tahan gempa, serta pengelolaan risiko bencana secara berkelanjutan di Desa Way Huwi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemerintah Desa Way Huwi, Lampung Selatan, yang telah memberikan izin dan akses lokasi untuk kegiatan survei mikrotremor serta pihak-pihak yang membantu dalam penulisan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Al-Shami, Q., Huang, J., Amran, M., Mugahed, S., Alluqmani, A. E., Al-Hajj, M., Abdelgader, H. S. (2024). Efficient Numerical Simulations On The Forest Barrier For Seismic Wave Attenuation: Engineering Safe Constructions. *frontiers In Built Environment*, 01-18.
- Ammon, C. J., Velasco, A. A., Lay, T., & Wallace, T. C. (2020). *Foundations Of Modern Global Seismology*. San Diego (Calif), USA: Academic Press.
- Anggraeni, E. F., Supriatna, M., Mahesa, M. P., ruloh, R. N., & Soni, U. (2025). Evaluasi Indeks Kerentanan Seismik Dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR). *Jurnal Penelitian teknik Mesin*, 33-41.
- Arai, H., & Tokimatsu, K. (2004). *Microtremor Survey For Site Classification Using Horizontal To Vertical Spectral Ratio*. *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 883-897.
- Barber, A. J., Crow, M. J., & Milsom, J. S. (2005). Toward Disentangling Fathering And Mothering: An Assessment Of Relative Importance. *Journal Of Marriage And Family*, 76-92.
- Belytschko, T., Liu, W. K., Moran, B., & Elkhodary, K. (2014). *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*. Chichester, Inggris: John Wiley & Sons, Ltd.
- Boashash, B. (1992). Estimating And Interpreting The Instantaneous Frequency Of A Signal Part 1: Fundamentals. *Proceedings of the IEEE*, 520-538.
- Boore, D. M., & Joyner, W. B. (1997). Site Amplifications For Generic rock Sites. *Bulletin Of The Seismological Society Of America*, 327-341.
- Bourgault, G., & Gosselin, C. (2015). Application Of Geostatistical Techniques In Environmental And Mining Fields. *Environmental Geology*, 973-984.
- Bronto, S. (2006). Fasies Gunung Api Dan Aplikasinya. *Indonesian Journal On Geoscience*, 59-71.
- Cooley, J. W., & Tukey, J. W. (1965). An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation*, 297-301.
- Cressie, N. (1993). *Statistics For Spatial Data (Revised Edition)*. New York: Wiley Series In Probability And Statistics.
- Fatimah, A., Sriyanto, S. P., Sunardi, B., & Wandono. (2022). Identifikasi Karakteristik Tanah dan Struktur Kecepatan Gelombang Geser Menggunakan Data Mikrotremor di Daerah Lembang, Jawa Barat. *Jurnal Geofisika*, 38-44.
- Figueiredo, I. N., & Leal, C. (2012). Physiologic Parameter Estimation Using Inverse Problems. *Pre- Publicacoes Do Departamento De Matematica*, 1-23.
- Goda, K., & Aoi, S. (2010). Seismic Vulnerability Assessment of Existing Buildings Using Ground Motion Intensity Measures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 1107-1115.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics For Natural Resources Evaluation*. New York, NY, USA: Oxford University Press.
- Haerudin, N., Rustadi, Alami, F., & Yogi, I. (2020). The Effect Site Analysis Based On *Microtremor Data Using The Horizontal To Vertical Spectral Ratio* (HVSR) Method In The Bandar Lampung City. *Journal Of Physics: Conference Series*, 01-09.
- Husbani, A., & Saputra, A. H. (2019). Pemilihan Teknologi Regasifikasi Untuk Pembangkit Listrik Industri Aluminium di Kuala Tanjung. *Prosiding TAU SNAR-TEK*, 1-5.
- Jamil, M., & Yang, X.-S. (2013). A literature survey of benchmark functions for global optimization problems. *international Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 150-194.
- JR., W. G., Zheng, Q. K., & Mahoney, A. J. (1989). Transient Vibrational Spectroscopy of &'A, CH₂ v₂ = 2. *Journal Of Molecular Spectroscopy*, 596-601.

- Katori, T., Fujiwara, M., & Takeuchi, Y. (2011). Microzonation Of Seismic Hazard Based On Site Conditions In Urban Areas. *Journal Of Seismology And Earthquake Engineering*, 73-82.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). *Particle Swarm Optimization*. Perth, WA, Australia: IEEE.
- Mangga, S. A., Amirudin, T., Suwanti, S., & Gafoer, S. (1993). Geological Map of Tanjung karang Quadrangle Sumatra. *Geological Research and Development Center*.
- Matheron, G. (1963). Principles Of Geostatistics. *Economic Geology*, 1246-1266.
- Menke, W. (2018). *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. India: Candice Janco.
- Moh adib. (2024). Evidence Based Policy Dan Kaitannya Dengan Mitigasi Bencana Gempabumi di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Kewarganegaraan*, 58-76.
- Moulik, P., & Ekstrom, G. (2014). An Anisotropic Shear Velocity Model Of The Earth's Mantle Using Normal Modes, Body Waves, Surface Waves And Long-Period Waveforms. *Geophysical Journal International*, 1713-1738.
- Nakamura, Y. (1989). A Method For Dynamic Characteristics Estimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface. *Quarterly Report Of The Railway Technical Research Institute*, 25-33.
- Nikolic, Z., Benvenuti, E., & Runjic, L. (2022). Seismic Risk Assessment of Urban Areas by a Hybrid Empirical-Analytical Procedure Based on Peak Ground Acceleration. *Applied Sciences*, 1-25.
- Nuha, M. U., Isnaini, L. E., Yudanegara, R. A., Nugroho, A. P., Welly, T. K., & Anggara, O. (2021). Smart Village Map: Peta Desa Way Huwi Berbasis Web Untuk Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 149-158.
- Nurfitriana, I., Wibowo, A., & Rudianto. (2021). Relokasi Gempabumi Swarm di Pesawaran Lampung, Januari 2021. *Jurnal Geocelebes*, 91-101.
- Pattiselanno, S. R., & Soetrisno, A. K. (2020). Mitigasi Dan Pemetaan Jalur Alternatif Evakuasi Cepat Lingkar Kampus Polnam Untuk Antisipasi Potensi Tsunami Pasca Gempa Ambon Berbasis GIS Dan Foto Udara. *Jurnal Simetrik*, 362-367.
- Pulunggono, A., & Cameron, N. R. (1984). Sumatran Microplates, Their Characteristics And Their Role In The Evolution Of The Central And South Sumatra Basins. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association (IPA), 13th Annual Convention*, 121-143.
- Putri, N. B., Yudistira, T., & Fattah, E. I. (2020). Mikrozonasi Kerentanan Seismik Serta Kolerasi Frekuensi Predominan Dan Vs30 Terhadap Data Vertical Electrical Sounding Di Kawasan Kotabaru, Lampung Selatan. 01-12.
- Qatrunada, A. M., Rahman, Y., & Asbi, A. M. (2023). Arah Mitigasi Bencana Tsunami Di Objek Wisata Pantai Tanjung Setia Kabupaten Pesisir Barat. *Journal Of Social Science Research*, 314-327.
- Rachmawati, I., & Daryono. (2020). Mikrozonasi Gempa Bumi Berbasis HVSR di Yogyakarta. *Jurnal Geofisika*, 18(2), 85-93
- Restianingsih, W., Rasimeng, S., & Firdaus, R. (2022). Seismic Vulnerability Microzonation Based On Dominant Frequency And Amplification Using The HVSR Method In Wedi, Changewaro (Klaten) And Gendangsari (Yogyakarta). *Jurnal Penerapan Teknologi Dan Pembelajaran*, 57-99.
- Ritsema, J., & Heijst, H. V. (2000). New Seismic Model Of The Upper Mantle Beneath Africa. *Geology*, 63-66.
- Rizka, & Satiawan, S. (2019). Investigasi Lapisan Akuifer Berdasarkan Data Vertical Electrical Sounding (VES) Dan Data Electrical Logging; Studi Kasus Kampus ITERA. *Bulletin Of Scientific Contribution Geology*, 91-100.
- Rizki, R., Ashuri, W., Hakim, R. A., & Santoso, N. A. (2022). Subsurface Survey Of Cisarua Lampung Hot Springs Using Geochemical And Gradio-Magnetic Method. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 58-66.
- Rustadi, Dermawan, G. B., & Sinambela, R. Z. (2023). Seismic Vulnerability Evaluation In Western Bandar Lampung's Quarter Formation Using The ERT Technique. *Journal Of Earth And Marine Technology*, 127-132.
- Seni, W., Ismail, N., & AB., I. (2013). Pendidikan Mitigasi Bencana Berbasis Lingkungan Masyarakat Terhadap Jalur Evakuasi Gempa Bumi Berpotensi Tsunami (Studi Kasus Kecamatan Kuta Alam Kota Banda Aceh). *Jurnal Biotik*, 93-102.
- SESAME Project. (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: Measurements, processing, and interpretation. *European Commission – Research Directorate General*.
- Shelley, E. O., Ossa, A., & Romo, M. P. (2007). The Sinking Of Mexico City: Its Effects On Soil Properties And Seismic Response. *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*, 333-343.
- Siringoringo, L. P., Paembonan, A. Y., & Rahmanda, V. (2021). Fault Reassessment in Way Huwi Area, South Lampung using Gravity Method. *Jurnal Geofisika*, 36-40.
- Srnbridge, m., & Mosegaard, K. (2002). *Monte Carlo Methods In Geophysical Inverse Problems*. American: Reviews Of Geophysics.
- Sulandari, B., Suteja, A., Hadibroto, H., Nurmaliah, Setyanta, B., & Garniwa, A. (2023). Deliniasi

- Struktur Sesar Lampung - Panjang Dan Identifikasi Potensi Sumberdaya Alam Berdasarkan Anomali Magnet Daerah Bandar Lampung. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 195-203.
- Supartoyo, & Surono. (2008). *Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1629-2007*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Tavakkol, M., & Fatahi, B. (2019). Seismic Vulnerability Assessment and Microzonation for Urban Areas. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 829-845.
- Tokimatsu, K., Arai, H., & Yamazaki, M. (2004). Multi-Dimensional VS-Profilng With Microtremor H/V And Array Techniques. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, 883-897.
- Tsani, E. S., Madlazim, & Fahmi, M. N. (2023). Akurasi Perbandingan solusi Centroid Moment Tensor (CMT) Gempa Bumi Secara Real-Time Dan Otomatis Di Wilayah Sumatera Menggunakan Metode Gisola Pada Software Jokotingkir. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 34-42.
- Virieux, J., & Operto, S. (2009). An Overview Of Waveform Inversion In Exploration Geophysics. *Geophysics*, 128-152.
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction With Applications*. Berlin, Jerman: Springer-Verlag.
- Yong, A., Martin, A. J., Stokoe, K. H., & Diehl, J. G. (2016). Updating NEHRP Site Classifications Using Vs30 Data in the United States. *Earthquake Spectra*, 32(2), 695-720.
- Youd, T. L., Steidl, J. H., & Nigbor, R. L. (2004). Lessons Learned And Need For Instrumented Liquefaction Sites. *Science Direct*, 639-646.
- Zhang, Z., Kang, J., Wang, J., Fang, D., & Liu, Y. (2024). Earthquake Risk Assessment in Seismically Active Areas Of Qinghai Province Based on Geographic Big Data. *Atmosphere*, 01-21.
- Zhao, Z., Liu, J., & Luo, Y. (2016). Inversion Of HVSR Curves Using Particle Swarm Optimization. *eophysical Journal International*, 1908-1923.
- Zharvan, V., Muris, & Subaer. (2013). Studi Struktur Mikro Dan Kuat Lentur Komposit Geopolimer Serat Bambu Dengan Temperatur Curing Berbeda. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 100-104